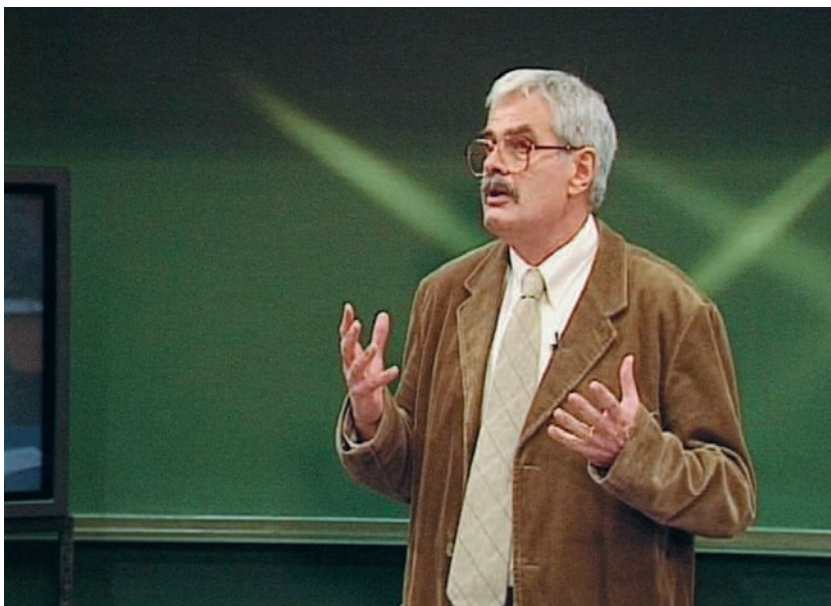


SZEGŐ KÁROLY

Környezetünk: a Naprendszer



Szegő Károly
fizikus
c. egyetemi tanár

Bevezetés

Hideg. Sötét. Végtelen magányosság. Így jellemezhetjük a világűrt? Nem! A világűr tele van mozgással, változással, csodálatosan aktív folyamatokkal, ilyenek például a Nap folyamatai, a Jupiter légkörének mozgása vagy a **bolygók** láthatatlan, töltött részecskékből álló környezetének tánca.

E folyamatok nagy részét emberi érzékszerveinkkel nem érzékelhetjük. A sugárzások zöme az elektromágneses hullámok olyan tartományába érkezik, amit az emberi szem nem lát. A világűrben terjedő részecskéket érzékszerveink nem fogják fel. Műszereket kell építeni, hogy a Földön kívüli környezetünket megismerjük, és e műszereket el kell juttatni a vizsgálandó helyekre.

Az előadás arról szól, mit találtak e műszerek, amelyeket a kisebb-nagyobb űrszondák, űrhajók vittek magukkal, és milyennek látjuk ma az így megismert világot. Csak arról a tartományról lesz szó, ahova az űreszközök eljutottak – nem beszélünk tehát a galaxisokról, se a távoliakról, se a közeliokról; ugyanakkor csak a Földön kívüli világgal ismerkedünk, így nem esik szó az emberes űrrepülésekről sem.

1943-ban született. 1966-ban végzett az ELTE Természettudományi Karának fizikus szakán. 1973-ban a fizikai tudományok kandidátusa, 1987-ben akadémiai doktora lett.

Pályáját elméleti részecskefizikusként kezdte az MTA Központi Fizikai Kutatóintézetében. 1991-től, azaz a megalakulásától kezdve 2002-ig volt az MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézetének (RMKI) igazgatója. Előtte a KFKI-ban ennek elődjét vezette. Érdeklődése az 1980-as évek elején fordult az űrfizika felé. Társvezetője volt a Halley-üstökös megismerésére nemzetközi részvétellel indított szovjet VEGA-űrmisszióknak, részt vett több űrmisszió – a szovjet Phobos, az amerikai Cassini, az európai Cluster és Rosetta – plazmakísérleteiben. Megalakulása, azaz 1989 óta vezeti az ELTE TTK fizikus tanszék-csoport RMKI-ba kihelyezett laboratóriumát.

Főbb kutatási területei: az üstökösök vizsgálata, az üstökös és a napszél kölcsönhatásának dinamikája. Jelenleg a napszél és a bolygók kölcsönhatásait tanulmányozza. Az 1980–1987 közötti időszakban született tudományos közleményei közül négy bekerült a „Naprendszer kutatása” témakörben világszeretileg legtöbbet idézett hét publikáció közé.

**Bolygók:**

a Nap körül keringő kilenc nagyobb, többé-kevésbé gömb alakú égitest gyűjtőneve (belülről kifelé haladva: Merkúr, Vénusz, Föld, Mars, Jupiter, Szaturnusz, Uránusz, Neptunusz, Plútó). A legtöbb bolygó körül holdak is keringenek, és legtöbbjüknek a Földhöz hasonlóan légköre és belső eredetű mágneses tere is van. Többen vitatják, hogy a Plútó bolygónak tekinthető-e, mivel a többi bolygó holdjainál is kisebb.

Naprendszer:

a Napnak a bolygórendszeren messze túlnyúló befolyási övezete. A naprendszer határa még néhányszor távolabb van a Naptól, mint a legkülső bolygó, a Plútó pályája. A legközelebbi állócsillagok e határnál még sok ézerszer messzebb vannak.

Űrmisszió:

űrszonda tervezése, építése és működtetése, a teljes földi háttértevékenységgel együtt.

Űrszonda:

a Földtől távol, a bolygóközi térben vagy más bolygók környezetében méréseket végző mesterséges égitest.

Üstökös:

az üstökösök magja a naprendszer keletkezésekor létrejött, bolygókba be nem épült, jeget és különböző anyagú és méretű porszemcséket tartalmazó „piszkos hógolyó”. Az üstökösök felszíne a Naphoz közel jutva felmelegszik, párologni kezd, és a kiszabaduló anyag a napszéllel kölcsönhatásba lépve jellegzetes csóva mentén rendeződik el.

Hogyan szervezik az űrmissziókat?

A **Naprendszert** vizsgálni költséges mulatság. Nemcsak az űreszközöket felrepítő rakéták drágák, de drága a kapcsolattartás is, és jelentős személyzet kell a szonda pályájának folyamatos tervezéséhez, a szondák jó egészségének fenntartásához, az adatfolyam kezeléséhez, tárolásához, archiválásához, a feldolgozásról nem is szólva. Sajnos volt példa arra, hogy még működőképes szondát „adtak fel”, mert kellett az antenna, a személyzet és főképp a pénz más missziókhöz.

De miért beszélünk „**űrmisszióról**”? Az **űrszonda** csak a jéghegy látható csúcsa. A szonda és az őt életben tartó háttér, az emberi tudás és szervezetség együtt képezik a missziót.

Az űrmissziók drágák. Egy „kisebb”, „olcsó” misszió 150 millió dollárba kerül, a nagy, drága missziók költsége meghaladja az egymilliárd dollárt is. Ezért a kutatások esetében teljesen önálló, nemzeti missziók ma gyakorlatilag nem léteznek. De akkor hogyan határozzák meg, hogy hova indítsanak űrszondát?

Vizsgálandó kérdések

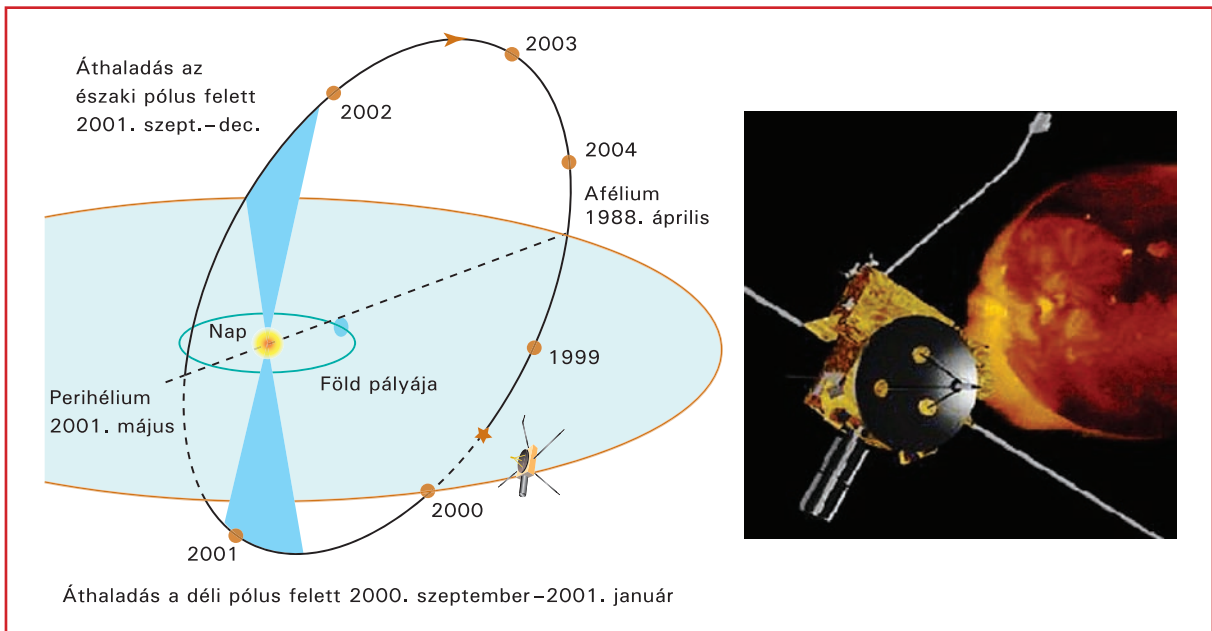
Tekintélyes szervezetek a nagy űrügynökségek felkérésére 10–15 évenként áttekintik a Naprendszer kutatásának helyzetét, és javaslatot tesznek a vizsgálandó problémákra, illetve arra is, hogy hova indítsanak majd missziókat. Ma az egyik legizgalmasabb kérdés: kialakult-e élet a Földön kívül? A jelenlegi technika mellett ez kísérletileg vizsgálható.

Egy-egy űrmisszió „összerakása” nagyon izgalmas feladat. Én több ilyen munkában vettem részt: a Halley-**üstökös** kutatását végző Vega-szondák építésében, egy – sajnos balul sikerült – leszállóegység építésében, amely a Mars Phobos nevű holdjára szállt volna le, és most az Európai Űrügynökség Rosetta-missziójának keretében egy leszállóegység építésében, mely 2014-ben száll majd le a Churyumov – Gerasimenko üstökös felszínére. Missziót építeni sokkal nagyobb feladat, mint egyedi műszereket.

A Naprendszer

A Naprendszer látható komponensei nagyjából ismertek. A Naprendszer kialakulása során fejlődött ki a Nap és a bolygók. A bolygók törmelékeiből származnak az **aszteroidák**. Az üstökösök abból az anyagból maradtak meg, ami nem épült be a bolygókba, az üstökösök tanulmányozásával visszanyúlhatunk a múltba, az őanyagot tanulmányozhatjuk.

Talán kevésbé ismert viszont a Naprendszer láthatatlan komponense, melyet por, sugárzások, töltött és semleges részecskék alkotnak. Az űrkor-



szak egyik legfontosabb felfedezése a láthatatlan **plazmakomponens** jelentőségének, szerepének feltárása volt. Ez a láthatatlan komponens energiát és impulzust szállít, kapcsolatot teremt a látható összetevők között. A plazma legfontosabb jellemzője, hogy együttesen más jelenségeket mutat, mint ami az egyedi részecskék mozgásából adódna, úgy, mint nagy tömegjelenségek esetében, ahol az összkép más, mint a résztvevők mozgása.

A Naprendszert a Nap működteti. A Földről a Napot csak nagyon speciális szögből vizsgálhatjuk, nevezetesen mindig az ekliptika síkjában vagyunk. Az első (és mindmáig egyetlen) szonda, amely felülről és alulról is vizsgálta a Napot, az Európai Űrügynökség Ulysses-szondája, ez mind a mai napig működik. A Napról nagyon sok új adatot gyűjtött a Soho-űrszonda, amely a Földdel együtt mozog, s annak az egyik pontnak a közelében tartózkodik, ahol a Föld és a Nap vonzása kiegyenlíti egymást.

A Nap „nem fér a bőrébe”, működése során anyagával folyamatosan elönti a Naprendszert. A következőkben ezt a jelenséget fogjuk bemutatni.

A Napot a belső magban lejárló ún. fúziós folyamatok, a hidrogén és egyéb könnyű magok egyesülése fűti. Ez a folyamat csak a Nap legbelsejében zajlik, onnan a hő sugárzás formájában terjed, a külső rétegekben pedig az áramlási folyamatok dominálnak. A hő a Nap anyagában heves ütközéseket vált ki, az anyag jelentős részben plazmaállapotba kerül.

A különböző hőmérsékletű anyag mozgása eltérő. A különböző hőmérsékletekhez más spektrális tartomány tartozik, ezért a Nap képe más és más, attól függően, milyen hullámhosszúságú hullámokat figyelünk meg. Vizsgáljunk meg néhány felszíni jelenséget! A Nap felszínén a plazma mozgása a mágneses erőtereket követi. A felszínen a mágneses tér speciális, szőnyegszerű szerkezetet mutat, és felettébb bonyolult. Távolabbról hasonlít egy dipól teréhez, de el is tér attól. A sarki részről kiinduló mágneses erővonalak a Naprendszerbe is eljutnak balerinaszoknya-szerű alakot mutatva, az egyenlítői részen a felszínen záródnak. A **napfoltok** jelenléte a lokális mág-

ESA Ulysses

Aszteroidák:

kisbolygók, űrszklák. A bolygóként elismert kilenc aszteroida a többé-kevésbé gömb alakú égitesteknél kisebb és szabálytalanabb alakú, de azokhoz hasonlóan a Nap körül keringő, és néhány métertől több mint ezer kilométerig terjedő átmérőjű égitest (közülük a legnagyobbat 2002-ben fedezték fel). A Mars és Jupiter közötti aszteroidaövhöz tartozó égitestek nagy része valószínűleg ütközésben létrejött törmelék. A Neptunuszon túli és a még távolabb, a Naprendszer határvidékén feltételezett aszteroidák valószínűleg a Naprendszer keletkezésekor fennmaradt porból álltak össze, és nem ütközésben keletkeztek. Az aszteroidákat nehéz megkülönböztetni az üstökösmagoktól, valószínűleg nem is mindig lehetséges.

A Nap szerkezete

Plazma:

ionizált, elektromosan jól vezető, általában nagy hőmérsékletű gáz, melynek jelenségeit az ionok és elektronok együttes (kollektív) viselkedése jellemzi.

Napfolt:

a Napon látható sötét, a napfelszín többi részénél hidegebb folt. Az itt található erős mágneses tér akadályozza azt az áramlást, amely a Nap belsejében létrejött energiát felszínre hozza.

Napszél:

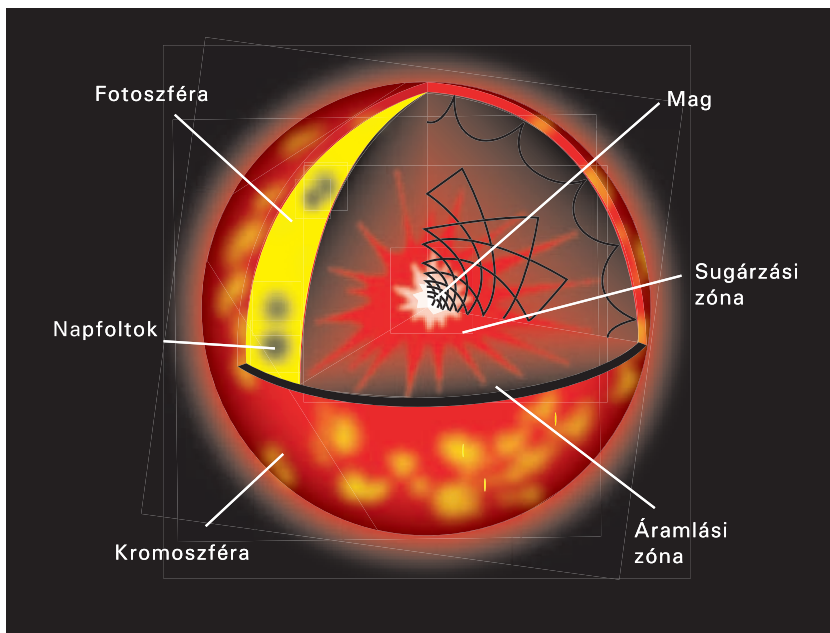
a Napból nagy sebességgel kiáramló plazma. A Föld pályájánál, a Naptól 1 AU távolságra a napszél átlagos sűrűsége köbcentiméterenként néhány ion. Sebessége általában 300 km/s és 800 km/s között változik, de nagy napkitörések idején még ennél is nagyobb lehet.

Magnetoszféra:

bolygók vagy más csillagászati objektumok körül kialakuló plazmatartomány, amelyen belül a belső mágneses tér hatása dominál.

Sarki fény:

az északi és déli sarkkör közelében gyakran fellépő fényjelenség, melyet Nap-eredetű vagy a magnetoszférában felgyorsult részecskék keltene a felső légkörben. Nagy mágneses viharok idején a sarki fény a szokásosnál jóval kisebb földrajzi szélességeken (pl. hazánkban) is megfigyelhető.



neses tér fejlődésével kapcsolatos, ezért van időbeli kapcsolat a napfoltok és a Nap mágneses pólusváltásai között.

A Nap látható felszínét és az afölött elhelyezkedő kromoszféra feletti tartományt napkoronának hívjuk, ez szabad szemmel a napfogyatkozások alkalmával figyelhető meg. A korona anyaga nagyon híg, de igen forró; a fűtés mechanizmusát még ma sem értjük. A koronában felgyorsuló töltött részecskék sebessége igen nagyra nő, a Nap északi és déli pólusai közelében eléri a 800–1000 km/s sebességet, az egyenlítői tartományban az átlagos kiáramlási sebesség 300–400 km/s. A folyamatosan kiáramló anyagot **napszél**nek nevezzük. Az anyagkilövellés időnként igen gyors és heves, e folyamatokat korona-anyagkilövelléseknek nevezzük. Egy kilövellés során sok száz Gellért-hegynyi anyag kerül a Naprendszerbe. A nap folyamatairól sokat megtudhatunk, ha a kilövellések során kiáramló nagy energiájú részecskéket vizsgáljuk. A Soho fedézetén működő Lion nevű detektor – amely magyar egységeket is tartalmaz – méri ezeket.

Műszereinkkel ma már belátunk a felszín alá, észleljük a Nap rengéseit, a felszín alatti hatalmas áramlásokat, a felszíni mágneses struktúrák mélybeli szerkezetét. A Nap aktivitása sokfajta periodicitást mutat, a legfontosabb a Nap mágneses pólusainak változásával kapcsolatos tizenegy éves periodicitás.

A Nap hatása Földünkre

A Napból kiáramló anyag kölcsönhatásba lép a bolygók környezetében található mágneses térrel és töltött részecskékkel. E töltött részecskék az atmoszféra legfelső rétegeinek anyagából keletkeznek a Nap ultraibolya sugárzásának hatására, de könnyen kiszabadulnak a bolygók vonzásából. A töltött részecskék kölcsönhatásának eredményeképp speciális plazma-

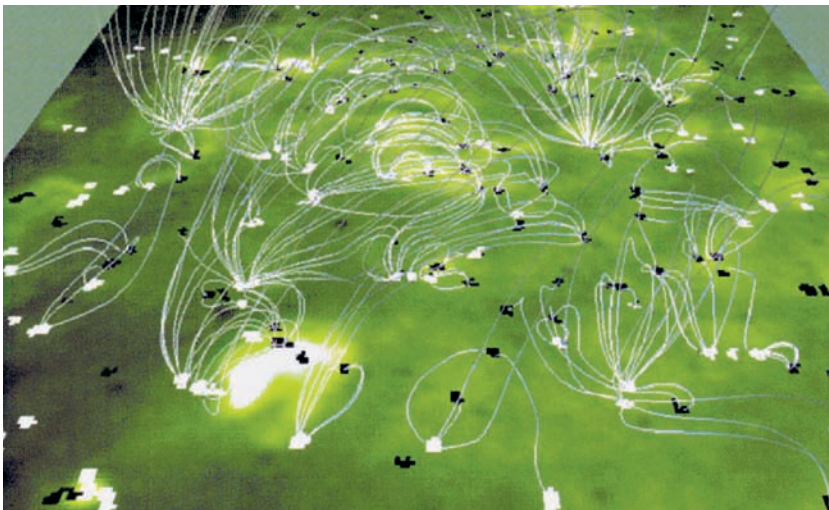
szerkezet alakul ki a bolygók körül, ezt a bolygó magnetoszférájának nevezzük. A különböző plazmatartományokat éles határok választják el.

A **magnetoszféra** alakja a bolygó körüli plazma és a Napból kiáramló plazma kölcsönhatásából alakul ki. A bolygó – így a Föld – magnetoszférája az ideáramló anyag egy részét eltéríti, és így pajzsként véd a Nap káros sugárzásai ellen. A kölcsönhatás egyik érdekes formája az elektromágneses hullámok keletkezése, ezek frekvenciája gyakran esik a hallható tartományba. Így ha az antennához hangszórót kötünk, hallhatjuk a szférák modern zenéjét.

A napszél egy része a mágneses bolygók (pl. a Föld) esetében a mágneses pólusoknál beáramlik, **sarki fényt** okozva. A sarki fény a Föld felszínéről nézve változó, színes, függönyszerű tűnemény, az űrszondákról nézve glóriaként veszi körbe a sarkokat. Sarki fényt valamennyi mágneses bolygó esetében megfigyeltek (pl. a Jupiter és a Szaturnusz esetében).

Bár a napszélben levő energia sűrűsége sokkal kisebb, mint a napfényé, a magnetoszféra képes felhalmozni e kis energiákat, és ez gyors **mágneses viharok** formájában szabadul fel, ami kihat a földi folyamatokra is. Így például egy nagy mágneses vihar miatt Kanadában olyan zavar keletkezett egy áramtermelőben, ami hosszú, országos áramkimaradást okozott. A mágneses viharok hatására áramok keletkeznek a nagy olajvezetékben, de a Föld felszíni rétegeiben is. A nagy **napkitörések** zavarokat okoznak a **műholdak** elektronikai rendszereiben, akár a földi távközlést is megzavarhatják. Ma már képesek vagyunk védekezni a mágneses viharok ellen, többek között a műholdak ideiglenes kikapcsolásával.

A Nap aktivitásának hatását a földi jelenségekre „**űridőjárásnak**” nevezzük. A nagy napkitörések ma már előre jelezhetők, ezt „űridőjárás-előrejelzésnek” nevezik. A Föld környezetében levő műholdak és a Nap megfigyelése az űrből lehetővé teszi a kitörések néhány napos előrejelzését. Egyes napkitörések által keltett (Lyman- α) sugárzások visszaverődnek a Naprendszerben található semleges hidrogénről, mintegy tükröt tartva számunkra, mely segítségével megfigyelhetjük a Nap túlsó oldalát, és a kitöréseket két héttel előre is jelezhetjük.



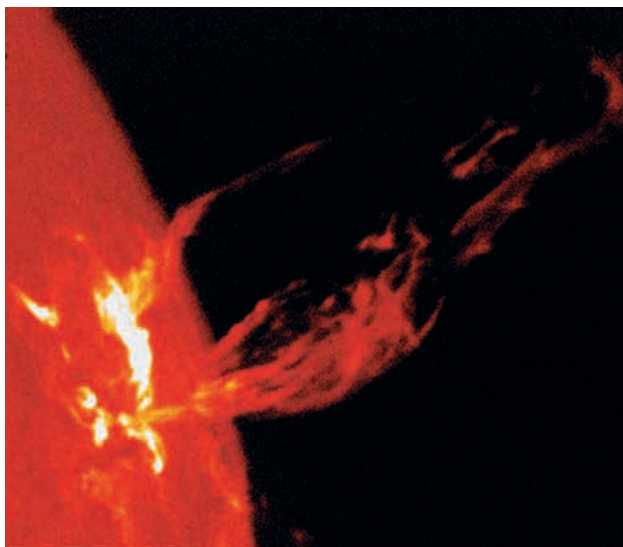
Mágneses vihar:

a változó napszél hatására a magnetoszféra mérete és alakja megváltozik, s e változás a magnetoszféra csővájában bonyolult átrendeződést indíthat el. Ennek hatása a Föld közvetlen környezetében, sőt még a talajszint alatt is áramokat indukál, és gyakran nemcsak a műholdak, de a földi elektromos hálózatok működésében is zavarokat okoz.

Napkitörések (flek és korona-kilövellések):

a Nap aktivitásának megnyilvánulásai, legnagyobb gyakorisággal az aktivitás maximuma idején fordulnak elő. Mindkét jelenséget a mágneses erővonalak összezsugorodása során felszabaduló energia működteti, és mindkettő töltött részecskék gyorsításával és elektromágneses sugárzás kibocsátásával jár együtt. A flek a napfelszínhez közelebb jönnek létre, és külső hatásuk nagyobb részben elektromágneses sugárzás, kisebb részben nagy energiájú részecskék kibocsátása. A korona-kilövellések nagy, gyakran a napszélnél jóval gyorsabban mozgó plazmatömegeket dobnak a koronából a bolygóközi térbe, és ezek a napszelet összenyomva lökéshullámot alakítanak ki, amely hatékony részecskegyorsító. Amikor a korona-kilövellések elérik a Föld magnetoszféráját, nagy mágneses viharokat keltenek.

A Nap mágneses tere a felszínen



Napkitörések

Sokat vitatott kérdés, hogy a Nap működése kihat-e a földi időjárásra. Lassan egyetértés alakul ki abban, hogy ilyen kapcsolat létezik:

-) a Nap ultraibolya sugárzása befolyásolja az ózonkeltést, ez kihat az atmoszféra cirkulációjára;
-) a napszél befolyásolja a felső atmoszféra elektromos jellemzőit, ez hat az alsóbb rétegekre is;

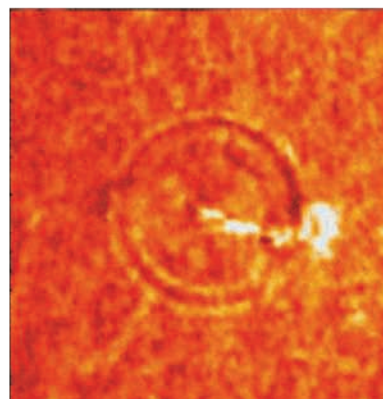
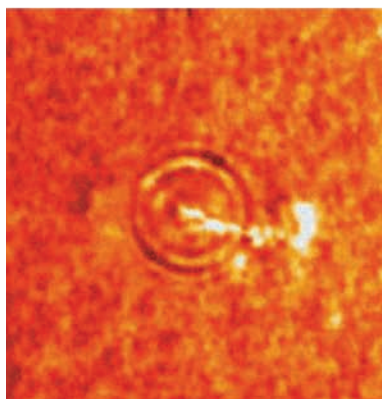
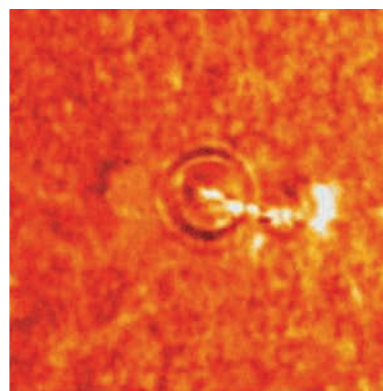
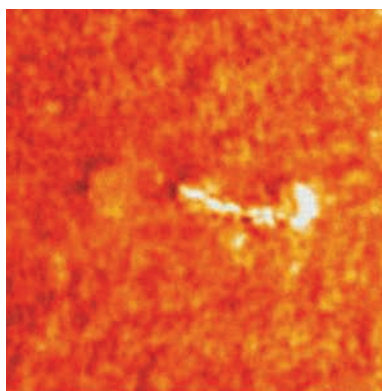
Naprengés képe egymás utáni pillanatokban

Műholdak:

a Föld körül keringő mesterséges égitestek gyűjtőneve.

Űridőjárás:

a naptevékenység közvetlen és közvetett hatásai miatt a Föld mágneses, sugárzási és plazmakörnyezete változó, s e változás a magnetoszféra és a felső légkör különböző folyamatai révén kihat az alsó légkörre és a földfelszínre is. Az űrbeli környezet változásait nevezzük űridőjárasnak.



› a napaktivitás csökkenése idején a behatoló töltött részek befolyásolják a felhőképződést.

A hosszú távú hatások valószínűek, de kevésbé bizonyíthatók.

A Nap–Föld kölcsönhatást egy űrszondával nehéz vizsgálni, mert bizonytalan, hogy a változás azért következik be, mert múlik az idő, vagy inkább azért, mert más helyen mértünk. Az Európai Űrügynökség Cluster-missziója az első misszió, amely négy szondával egyidejűleg vizsgálja e folyamatokat, s így lehetővé teszi az események és az okok pontos szétválasztását.

Az üstökösök

Az üstökösök a Naprendszer kialakulásával egy időben keletkeztek a távoli részeken; nem olvadtak be a Napba, illetve a bolygók anyagába, így az őanyag gyakorlatilag változatlan formában őrződik meg bennük. Az üstökösök jelentőségét tehát az adja, hogy vizsgálatukkal mintegy visszanyúlhatunk a múltba.

Az üstökös magja leginkább egy hógolyóhoz hasonlítható, a hó és jég por-szemcséken nőtt nagyobbra. A por olyan, mint a piszok a hógolyóban; ezért nevezik az üstökösöket „piszkos hógolyóknak”. Az üstökösök színét a piszok határozza meg, talán a Naprendszer legsötétebb objektumai. Időnként különböző okokból visszakerülnek a Nap közelébe, ekkor a Nap melegének hatására anyagiáramlás indul meg felszínükről, a látványosan távozó gáz és por alkotja az üstökösök látható kómáját és csóváját. Az első üstökös, amelynek a magját emberi szem megpillantotta, a Halley-üstökös volt 1986-ban.

Ekkor a Vega-szondákra épített magyar–orosz–francia kamerák hozták vissza az első képet a magról, melyet három nappal később az ESA Giotto-



A Hale-Bopp üstökös, 1997



A Halley-üstökös magja



A Halley-üstökös kómája

A Halley-üstökös, 1986

A Borelli-üstökös

NASA:

National Aeronautics and Space Administration, az Egyesült Államok Űrügynöksége.

ESA:

European Space Agency, Európai Űrügynökség; központja Párizsban, legnagyobb intézete (technológiai központja) Hollandiában van.

KFKI–RMKI:

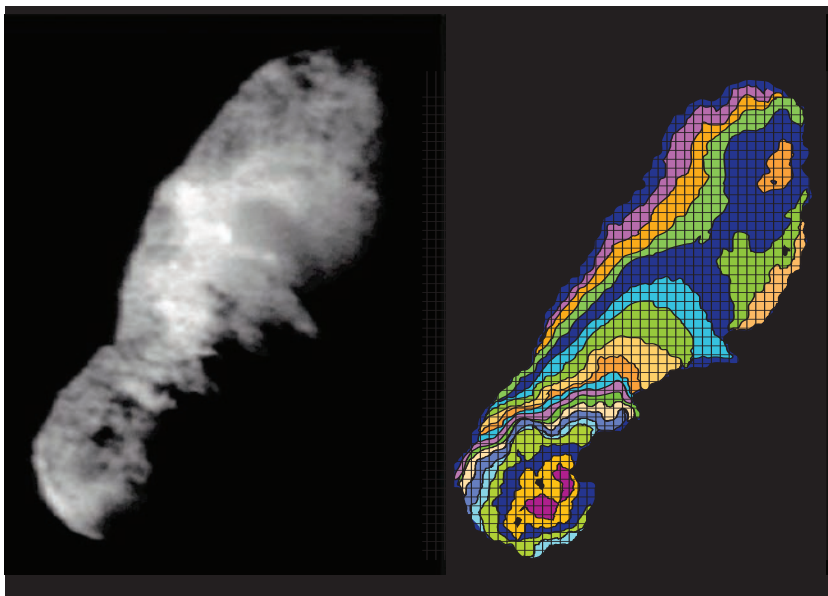
az MTA kutatóintézet, KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet. Űrkutatási részlege számos űrmisszió tervezésében, adatainak feldolgozásában és tudományos kiértékelésében, valamint műszereinek, fedélzeti elektronikájának és földi ellenőrző rendszereinek létrehozásában vett és vesz részt.

KFKI–AEKI:

az MTA kutatóintézet, KFKI Atomenergia Kutatóintézet (a KFKI eredetileg a Központi Fizikai Kutatóintézet rövidítése). Űrkutatási részlege számos űrmisszió számára készített és készít műszereket, elektronikus berendezéseket.

Turbulencia:

folyadékok vagy gázok szabálytalan irányú és sebességű, kavargó mozgása.



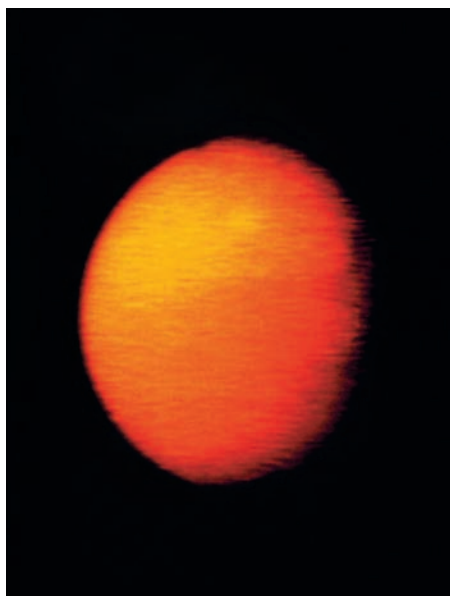
szondája is lefényképezett. A mag szabálytalan alakú, legnagyobb átmérője mintegy 16 km. A kiáramló gáz és por kölcsönhatásba lép, ez alakítja ki a látható, kilövellésszerű struktúrákat. Azóta a **NASA** egyik missziója lefényképezte a Borelli-üstökös magját is. Fontos lenne az üstököst alkotó anyagot közvetlenül is elemezni: ezt a feladatot tűzte ki az **ESA** Rosetta-missziója. A szondát 2004 elején lövik fel, hosszú útja lesz: csak 2014-ben ér a Churyumov–Gerasimenko üstököshöz, és le is száll rá. E misszióban jelentős a magyar részvétel, a **KFKI–RMKI**, a **KFKI–AEKI** és a BME munkatársai építették a fedélzeti elektronika egy részét.

A nagybolygók és holdjaik

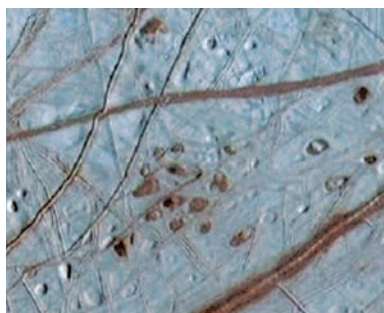
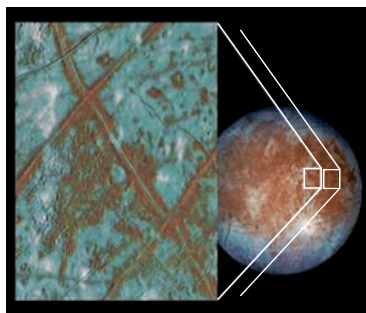
A Jupitert és holdjait több éven át vizsgálta a NASA Galileo-szondája. Nemrég repült el mellette a Cassini-szonda, ennek fedélzetén a KFKI–RMKI-ban készült berendezések is mérték a plazmakörnyezetet. (A Cassini célja a Szaturnusz környezete; a szonda 2004 nyarán ér el a bolygóhoz.)

A Jupiter a Naprendszer legnagyobb bolygója, számos érdekességet tudunk róla. A bolygó egy hatalmas, befelé egyre sűrűsödő gázgömb, a gáz a növekvő nyomás hatására folyékonnyá, majd szilárdvá válik. A felszíni jelenségei közül a „nagy vörös folt” a legismertebb. Ez mintegy 150 éve ismert **turbulencia**-jelenség, melynek szerkezete igen gyorsan változik. A Jupiter felhőiben vizet és ammóniát is kimutattak, villámlásokat észleltek. A modern műszerek segítségével a Cassini láthatóvá tette a bolygó körüli plazmaszférát is.

A Jupiter egyik holdjának, az Európának jéggel borított felszínét hatalmas rianások szabdalják. A mágneses tér vizsgálatából arra következtetnek, hogy a jég alatt folyékony víz található, erre utalnak a jégen látható olvadási foltok. A folyékony víz jelenléte miatt sokan gyanítják, hogy az Európán élet található.



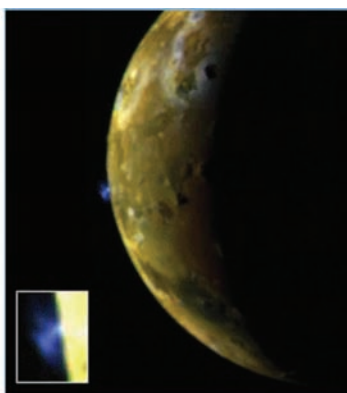
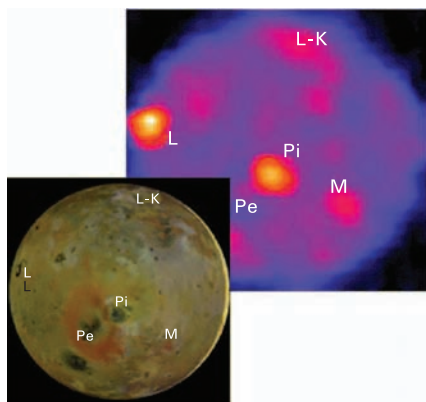
*A Szaturnusz-Titán holdja
(balra)
A Jupiter Galilei-holdjai
(fotomontázs) (jobbra)*



*Az Europa hold
A jégmező repedései (balra)
Az olvadás nyomai (jobbra)*

Egy másik hold – az Io – aktív vulkáni tevékenységet mutat, a felszínén lávafolyásokat figyeltek meg.

A Cassini-misszió egyik célpontja a Szaturnusz Titán holdja, az ESA Huygens-szondája fog leszállni a felhő borította felszínre. A Titánon olyan kémiai anyagok találhatók, amelyek szükségesek a szerves anyagok kialakulásához, ezért jó laboratóriuma az élethez szükséges vegyi folyamatoknak.



*Az Io hold
Hőterkép és felszín (balra)
Vulkánkitörés (jobbra)*



Összefoglalás



Voyager-1 szonda

A magyar kutatók szerepe

Helioszféra:

a Nap koronájából kiáramló napszél és az ebbe befagyott Nap-eredetű mágneses tér zónája, amely várakozásaink szerint élesen elkülönül a környező csillagközi gáz ionizált összetevőjétől. Alakja valószínűleg hasonlít a Föld magnetoszférájához, de mérete annak mintegy százezerszerese. A helioszféra belső részében a napszél szuperszonikus, vagyis áramlási sebessége a közegben terjedő hanghullámok sebességénél jóval nagyobb. E belső zónát egy hatalmas lökéshullám (véghullám – termination shock) választja el a külső zónától, ahol a napszél jóval melegebb, és a hullámok sebességénél lassabban halad kifelé.

A Naprendszer kutató szondák megerősítették, hogy a fizika alaptörvényei mindenütt azonosak. Ennek ellenére igaz, hogy a szondák csaknem mindenütt más jelenségeket tártak fel, mint amit a földi karosszékekben gondolkodva vártunk. Talán az a legérdekesebb általános tanulság, hogy a Naprendszer egységes egészként érthető meg; a Nap és a bolygók a láthatatlan plazmakomponens jelenléte miatt állandó kölcsönhatásban vannak, de befolyásolják az eseményeket a közeli csillagközi térben lejátszódó folyamatok is. Naprendszerünket egység és sokféleség, állandóság és változatosság, folyamatos mozgás és átalakulás jellemzi.

Vega:	Halley-üstökös	(KFKI, BME)
Phobos:	Mars-kutatás	(KFKI)
Ulysses:	Helioszféra	(KFKI-RMKI)
Föld térsége:	Hullámjelenségek	(ELTE)
Soho:	Napobszervatórium	(KFKI-RMKI)
Cluster:	Földi magnetoszféra	(KFKI-RMKI)
Rosetta:	Churyumov–Gerasimenko üstökös	(KFKI-RMKI, KFKI-AEKI, BME)
Stereo:	A Nap 3 dimenziós képe	(KFKI-RMKI)
Netlander:	Leszállás a Marsra	(KFKI-RMKI, GGKI)

Ahogy láthattuk, a magyar kutatók jelentős szerepet játszottak és játszanak a Naprendszer kutatásában. A Halley-üstököst vizsgáló Vega-szondákra a KFKI-ban és a BME-n készítettek elektronikákat, majd ennek folytatásaképpen a Rosetta-misszió keretében a Churyumov–Gerasimenko üstökös kutatásában vesznek részt magyar kutatók. A Mars kutatásában az orosz Phobos-szondákra készültek a KFKI-ban műszerek, és a KFKI–RMKI részt vesz a Marsra leszálló Netlander-misszió építésében is. A KFKI–RMKI-ban készült elektronika repül a Soho-szondán, részt veszünk a Cluster- és az Ulysses-misszió adatfeldolgozásában. Az ELTE kutatói berendezést építettek a Föld térségében észlelhető hullámjelenségek vizsgálatára. A Szaturnusz felé repül a NASA Cassini-szondája, ez szintén a KFKI–RMKI mérnökeinek közreműködésével jött létre. Bekapcsolódtunk a NASA tervezett Stereo-missziójába is.

Azt remélem, hogy e missziók adatainak feldolgozásában talán néhányan a hallgatóság fiatal tagjai közül is részt vesznek majd.

Ajánlott irodalom

Almár Iván – Both Előd – Horváth András: SH atlasz: Űrtan. Bp.: Exmayer Bt., 1996.

Almár Iván – Horváth András (szerk.): Űrhajózási lexikon. Bp.: Akadémiai K., 1981.

Balogh András: Mágneses mezők a Naprendszerben. *Fizikai Szemle*, 2000/8.

Both Előd (szerk.): *Természet Világa*, 2001/II. (Világűr) különszáma, amely részben a hálózaton is hozzáférhető: *2001. évi Világűr különszám* (általános tájékozódásra – és különösen a hazai űrkutatási földi alkalmazások áttekintésére – ajánlható).

Both Előd – Horváth András: 50 éves a magyar űrkutatás. Bp.: Magyar Űrkutatási Iroda, 1996. (Sok további információ található a Magyar Űrkutatási Iroda által általában évenként kiadott „Magyar Űrkutatás” sorozatban.)

Gribbin, John: Világűr – végső határaink. Pécs: Alexandra K., 2002.

Illés Erzsébet: Naprendszerünk Hamupipőkéje: Az ezerarcú Europa. *Élet és Tudomány*, 1997/ 21.

Kálmán Béla: A SOHO eredményei és problémái. *Meteor*, 1999/9.

Kálmán Béla: Hol tart most a naptevékenység? *Élet és Tudomány*, 2001/25.

Kecskeméty Károly – Szegő Károly: A Nap STEREO-ban. *Fizikai Szemle*, 2000/8.

Kereszturi Ákos: Egy óriásbolygó óriásholdjai. *Meteor*, 1996/9.

Kereszturi Ákos – Sárneczky Krisztián: Kisbolygók a Naprendszer peremén. *Meteor Csillagászati Évkönyv*, 1999.

Király Péter: Szoláris, helioszférikus és kozmikus részecske-sugárzás. *Fizikai Szemle*, 2001/8.

Szegő Károly: Új eredmények az üstökösök fizikájából. *Fizikai Szemle*, 2002/5.

Szegő Károly: Űrfizika az ezredfordulón. *Fizikai Szemle*, 1996/3.

Wolfendale, Sir Arnold – Király Péter: Veszélyforrások és védőrendszerek kozmikus környezetünkben. *Fizikai Szemle*, 1999/8.

